



**Slika 2** – Goveđa pljeskavica iz laboratorijskog uzgoja te konačni proizvod, hamburger (izvor: <https://newatlas.com/cultured-beef/28584/>)

godine, po znatno nižoj cijeni od 9 € po pljeskavici, u čemu na izgled prednjači nizozemska tvrtka Mosa Meat predvođena istim ljudima sa Sveučilišta u Maastrichtu.

Premda će predviđena cijena laboratorijskih hamburgera, ukoliko se pojave, biti višestruko veća od životinjskih, vrijeme će pokazati radi li se o izvedivoj te održivoj tehnologiji ili tek utopističkoj čežnji. A možda i distopijskoj, ako se pita obožavatelje dobrih odrezaka.

**M. Kovačić\***

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku  
kemijsku tehnologiju procesa, Savska cesta 16  
10 000 Zagreb

## (Ne)opravdan strah od nevidljivoga – bauk nuklearne energije

Nedavno je okončana odlična dramatizacija Černobilske katastrofe pod režijom HBO-a, u kojoj su dobro predočene okolnosti i problemi koji su doveli do kobnog događaja 26. travnja 1986. Rijetko kojeg gledatelja je dramatizacija učinaka ionizirajućeg zračenja ostavila ravnodušnim. Zaista, rijetko što je zastrašujuće kao ionizirajuće zračenje. Nevidljivo je i nečujno, bez okusa i mirisa, a u velikim dozama uzrokuje nepopravljivu štetu u genetskom materijalu i tkivima organizma, uzrokujući dugotrajno te iznimno bolno skončanje.

Učinci velikih doza ionizirajućeg zračenja na čovjeka osobito su dobro dokumentirani u slučaju nesretnog g. Hisashiya Ouchija, radnika japanske tvrtke *Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation*, koji je primio iznimno veliku dozu neutron-

skog zračenja, od čak 17 Sv, uslijed nezgode tijekom proizvodnje nuklearnog goriva.<sup>1,2</sup> HBO-ova serija raspirila je strahove javnosti, koji su počeli pomalo blijedjeti nakon nuklearne katastrofe u nuklearnoj elektrani Fukushima Daiichi 2011. Međutim, kreator serije “Černobil” naglasio je kako poruka serije nije o opasnosti nuklearne energije, već kako prava opasnost leži u lažima, aroganciji, suzbijanju kritika te ograničavanju slobode govora.<sup>3</sup> Bez obzira na utjecaj serije na javno mnijenje, nuklearna energija već je na svojevrsnom zalasku u zapadnoj hemisferi, premda je zaslužna za proizvodnju gotovo 30 % električne energije u EU-u.<sup>4</sup> U ponekim se zemljama u potpunosti odustalo od nuklearne energije, kao npr. u Italiji i Latviji, dok se u drugima poput Belgije, Njemačke, Španjolske i Švicarske planira skoro zatvaranje nuklearnih elektrana. U zemljama koje se nisu odrekle nuklearne energije troškovi izgradnje novih kapaciteta drastično rastu, što također uvelike doprinosi smanjenju naklonosti javnog mnijenja ka nuklearnoj energiji.<sup>5</sup> Međutim, nuklearna energija može biti od velikog značaja za ekonomiju “nula ugljika”, jer su ukupne

### Literatura

1. URL: <http://www.fao.org/3/ar591e/ar591e.pdf> (10. 6. 2019.).
2. URL: <http://www.fao.org/3/19692EN/i9692en.pdf> (10. 6. 2019.).
3. URL: <http://www.fao.org/3/19692EN/i9692en.pdf> (10. 6. 2019.).
4. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx> (10. 6. 2019.).
5. A. S. Cardoso, A. Berndt, A. Leytem, B. J. R. Alves, I. das N. O. de Carvalho, L. H. de Barros Soares, S. Uquiaga, R. M. Boddey, Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use, *Agric. Syst.* **143** (2016) 86–96, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2015.12.007>.
6. URL: <https://applications.icao.int/icec> (10. 6. 2019.).
7. M. Springmann, K. Wiebe, D. Mason-D'Croz, T. B. Sulser, M. Rayner, P. Scarborough, health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: a global modelling analysis with country-level detail, *Lancet Planet. Health.* **2** (2018) e451–e461, doi: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30206-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30206-7).
8. N. Guttman, Ethical issues in health promotion and communication interventions, *Oxford Research Encyclopedia of Communication* (2017), doi: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228613.013.118>.
9. URL: [http://www.fao.org/ag/againfo/home/en/news\\_archive/2017\\_More\\_Fuel\\_for\\_the\\_Food\\_Feed.html?platform=hootsuite](http://www.fao.org/ag/againfo/home/en/news_archive/2017_More_Fuel_for_the_Food_Feed.html?platform=hootsuite) (10. 6. 2019.).
10. M. A. Benjaminson, J. A. Gilchrist, M. Lorenz, *In vitro* edible muscle protein production systems (MPPS): Stage 1, fish, *Acta Astronautica* **51** (2002) 879–889, doi: [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(02\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(02)00033-4).
11. R. Magneson Chiles, If they come, we will build it: *in vitro* meat and the discursive struggle over future agrofood expectations, *Agric. Hum. Values* **30** (2013) 511–523, doi: <https://doi.org/10.1007/s10460-013-9427-9>.
12. URL: <https://newatlas.com/cultured-beef/28584/> (10. 6. 2019.).
13. URL: [https://static1.squarespace.com/static/5a1e69bdd-7bdce95bf1ec33b/t/5bb37ada0d9297b14b2eb5a9/1538489051403/FAQ\\_MM+website\\_Oct18.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5a1e69bdd-7bdce95bf1ec33b/t/5bb37ada0d9297b14b2eb5a9/1538489051403/FAQ_MM+website_Oct18.pdf) (10. 6. 2019.).

\* Dr. sc. Marin Kovačić  
e-pošta: [mkovacic@fkit.hr](mailto:mkovacic@fkit.hr)



**Slika 1** – Ruševine reaktora br. 4 černobilske nuklearne elektrane

emisije CO<sub>2</sub> u odnosu na fosilne termoelektrane gotovo pa zanemarive. U odnosu na obnovljive izvore poput vjetra i sunca, nuklearna energija je iznimno pouzdan izvor. Prema podacima Ministarstva energetike Sjedinjenih Američkih Država, nuklearne elektrane mogu se pohvaliti najvećim faktorom kapaciteta među svim oblicima proizvodnje električne energije, od čak 92,3 %, dok su sljedeće po redu pouzdanosti elektrane na prirodni plin i ugljen s faktorom kapaciteta od tek 55,5 % odnosno 53,3 %.<sup>6</sup> Primjerice, reaktor nuklearne elektrane Heysham II u Ujedinjenom Kraljevstvu radio je rekordnih 940 dana neprekidno, pri čemu je proizveo 14 TWh električne energije i smanjio emisiju CO<sub>2</sub> za čak 7 milijuna tona.<sup>7</sup>



**Slika 2** – Nuklearne elektrane u atmosferu emitiraju ponajprije vodu paru (izvor: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/nuclear-energy>)

Obnovljivi izvori energije ne mogu se pohvaliti velikim faktorima kapaciteta, pri čemu hidroelektrane imaju faktor kapaciteta od svega 38,2 %, a najgore su solarne elektrane s dostupnošću energije svega 25,1 % vremena. Osobito je zanimljiv podatak kako je nuklearna energija odgovorna za prevenciju oko 1,84 milijuna smrtnih slučajeva, usprkos Černobilu i drugim nezgodama, zahvaljujući smanjenju onečišćenja zraka te oboljenja vezanih uz lošu kakvoću zraka.<sup>8</sup> S obzirom na tendenciju rasta udjela obnovljivih izvora i želju za smanjenjem ovisnosti o fosilnim gorivima, jedino pouzdano rješenje buduće potencijalne energetske krize je upravo nuklearna energija. Premda pomisao na Černobil i Fukushimu isprva isključuje tu mogućnost, potrebno je razmotriti okolnosti obje nesreće. U slučaju Černobila radilo se o spletu inherentnih nedostataka samog dizajna i izvedbe RBMK-1000 reaktora te ljudskog faktora.<sup>9</sup> Sa sigurnošću se može reći kako se nesreća poput černobilske ne može dogoditi u nuklearnim elektranama zapadnog tipa, zbog fundamentalnih razlika u izvedbi samih reaktora. U slučaju Fukushime nije došlo do eksplozije samog reaktora za razliku od Černobila, već do taljenja jezgara reaktora uslijed otkazivanja rashladnih sustava.<sup>10</sup> Tragedija se mogla u potpunosti izbjeći da su pomoćni dizelski generatori pripadajući električni sustavi bili na povišenom, umjesto u podrumu elektrane koji je bio poplavljen uslijed tsunamija.<sup>11</sup> Statistički gledano, nuklearna energija je razmjerno sigurna te se sigurnost

znatno popravila nakon sedamdesetih godina. Naizgled, čini se kako je intenzitet nesreća od tada povećan, unatoč ukupnom smanjenju broja incidenata, te prema projekcijama nekih znanstvenika postoji 50 %-tna vjerojatnost u narednih 60 – 150 godina za ponavljanje nesreće razmjera Fukushima.<sup>12</sup> Međutim važno je imati na umu kako su Černobil i Fukushima nuklearne elektrane II. generacije, odnosno primjenjuju tehnologiju iz sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Nove generacije reaktora, III+ te najnovija IV, inherentno su znatno sigurnije u odnosu na staru tehnologiju, jer se oslanjaju na pasivne fenomene hlađenja, koji ne zahtijevaju vanjske izvore energije.<sup>13</sup> Doduše, nove generacije reaktora nisu još zaživjele u komercijalnoj proizvodnji te najvjerojatnije neće zaživjeti prije 2030. I usprkos novim tehnologijama, preostaje problem zbrinjavanja nuklearnog otpada, za koji trenutačno ne postoji jedinstvo rješenje. Naša civilizacija trebala bi pronaći način za sigurno zbrinjavanje radioaktivnog otpada u razdoblju od više desetaka tisuća godina, odnosno u razdoblju duljem no što postoje egipatske piramide. Velike nade se polažu u zbrinjavanje pod zemljom, na geološki stabilnim lokacijama. Trenutačno se jedino geološki stabilno odlagalište nuklearnog otpada za dugoročno zbrinjavanje na svijetu nalazi u Finskoj, na dubini od 400 m, u kojem će se radioaktivni otpad smjestiti u kapsule od bakrene legure i zapečatiti betonom jednom kada se odlagalište napuni.

Međutim, jedno je sigurno, usprkos značajnim napredcima u domeni sigurnosti, bit će teško uvjeriti javnost o opravdanosti izgradnje novih nuklearnih elektrana. Odnosno, bar sve do trenutka dok kao društvo ne shvatimo kako se pod hitno moramo odreći fosilnih goriva, makar i pod cijenu straha od nevidljivoga, ili se odreći blagodat 21. stoljeća.

## Literatura

1. J. Lamar, Japan's worst nuclear accident leaves two fighting for life, *BMJ* **319** (1999) 937, doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.319.7215.937a>
2. M. E. Ryan, The Tokaimura nuclear accident: A tragedy of human errors, *J. Coll. Sci. Teach.* **31** (2001) 42–48.
3. URL: <https://www.forbes.com/sites/michaelshellenberger/2019/06/06/why-hbos-chernobyl-gets-nuclear-so-wrong/#6966594e632f> (10. 6. 2019.).
4. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/nuclear-energy> (10. 6. 2019.).
5. URL: <https://www.ucsusa.org/nuclear-power/cost-nuclear-power> (10. 6. 2019.).
6. URL: <https://www.energy.gov/ne/articles/what-generation-capacity> (10. 6. 2019.).
7. URL: <http://world-nuclear-news.org/C-Record-940-days-of-continuous-operation-for-Heysham-unit-1609164.html> (10. 6. 2019.).
8. W. Kuo, C. Pan, A reliability look at energy development, *Joule* **2** (2018) 5–9.
9. V. Kortov, Y. Ustyantsev, Chernobyl accident: Causes, consequences and problems of radiation measurements, *Rad. Meas.* **55** (2013) 12–16, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rad-meas.2012.05.015>.
10. T. Tsuruda, Nuclear power plant explosions at Fukushima-Daiichi, *Procedia. Eng.* **62** (2013) 71–77, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.045>.
11. E. Hollnagel, Y. Fujita, The Fukushima disaster – systemic failures as the lack of resilience, *Nucl. Eng. Technol.* **45** (2013) 13–20.
12. S. Wheatley, B.K. Sovacool, D. Sornette, Reassessing the safety of nuclear power, *Energy Res. Soc. Sci.* **15** (2016) 96–100, doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.026>.
13. J. Yoo, J. Chang, J.-Y. Lim, J.-S. Cheon, T.-H. Lee, S. K. Kim, K. L. Lee, H.-K. Joo, Overall system description and safety characteristics of prototype gen IV sodium cooled fast reactor in Korea, *Nucl. Eng. Technol.* **48** (2016) 1059–1070, doi: <https://doi.org/10.1016/j.net.2016.08.004>.